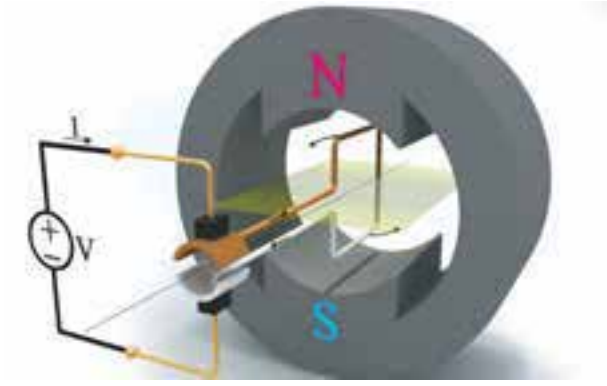



**شکل ۷۴ ـ ۲**

در ایــن حالت بیش‌تریــن گشــتاور در حلقه ایجاد می‌شــود. در این جــا حلقه با $360^\circ$ درجــه گردش به موقعیت اول خود در شکل (۶۷ـ۲) رسیده است. بدیهی است که گردش حلقه ادامه می‌یابد.

در موتور ســاده جریان مستقیم با قرار گرفتن حلقه در صفحه خنثی گشتاور وارد به آن صفر می‌شود. هرگاه حلقه عمود بر صفحه خنثی قرار می‌گیرد گشــتاور وارد به آن حداکثر می‌شــود. بنابراین در حین گردش حلقه، مقدار لحظه‌ای گشتاور تغییر می‌کند و یکنواخت نیست[1]. هم‌چنین مقدار گشــتاور بسیار کم و غیر کاربردی است و یکنواخت نبودن آن باعث شــده اســت تا موتور ساده جریان مستقیم غیرقابل استفاده شود.

هم‌چنین اگر حلقه در صفحه خنثی قرار داشته باشد و بــه منبع ولتاژ متصل شــود، جاروبک‌هــا به کموتاتور اتصال ندارند و جریان از حلقه عبور نمی‌کند و گشــتاور در آن ایجــاد نمی‌شــود. لــذا حلقه گــردش نمی‌کند و اصطلاحاً «راه‌اندازی» نمی‌شود.

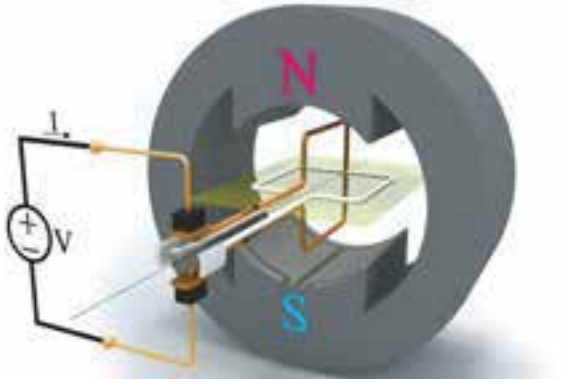
گشــتاورِ بســیار کم و یکنواخت نبودن گشــتاور و هم‌چنین عــدم راه‌اندازی هنگامی‌کــه حلقه در صفحه خنثی اســت، از معایب موتور ســاده جریان مســتقیم محسوب می‌شود و باعث شده است تا این موتور غیرقابل استفاده باشد.

## ۲ ـ ۹ ـ ۲ ـ اثر افزایش تعداد حلقه‌ها و تعداد دور آن در موتور ساده جریان مستقیم

### الف ـ اثر افزایش تعداد حلقه

برای یکنواخت شــدن گشــتاور و راه‌انــدازی در هر وضعیتی، تعداد حلقه‌ها را در موتور ساده جریان مستقیم افزایش می‌دهند.

موتور جریان مســتقیم با دو حلقــه عمود بر هم که روی یک محور قرار گرفته‌اند در شــکل (۷۵ ـ ۲) نشان داده شده است.




**شکل ۷۵ ـ ۲**

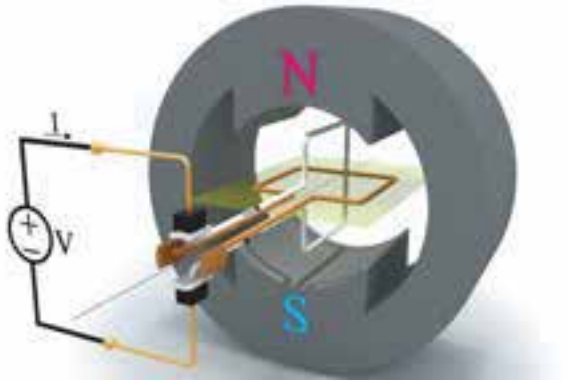
در این شــکل جاروبک‌ها به کموتاتور حلقه قهوه‌ای

---

۱. مقدار لحظه‌ای گشتاور در موتور ساده جریان مستقیم از رابطه $T = 2NBLIr\sin\alpha$ به‌دست می‌آید.
در این رابطه:
N تعداد دور حلقه
B چگالی فوران مغناطیسی قطب‌ها بر حسب [T]
L طول موثر هر بازوی حلقه در میدان مغناطیسی بر حسب [m]
I شدت جریان حلقه بر حسب [A]
r شعاع حلقه بر حسب [m]
$\alpha$ زاویه بین سطح حلقه با صفحه خنثی بر حسب درجه
T گشتاور بر حسب [N.m]

اتصـــال دارند، لذا با اتصال منبع ولتـــاژ، جریان از حلقه قهوه‌ای می‌گذرد و در آن گشتاور ایجاد می‌شود. در این شرایط کموتاتور حلقه سفید به جاروبک‌ها اتصال ندارد و از حلقـــه ســـفید جریانی نمی‌گذرد و در آن گشـــتاور ایجاد نمی‌شـــود. حلقه‌ها در اثر گشـــتاور حلقه قهوه‌ای شروع به گردش می‌کنند.

با گردش حلقه‌ها، کموتاتور نیز می‌گردد و جاروبک‌ها از کموتاتـــور حلقه قهوه‌ای جدا می‌شـــوند و به جاروبک حلقه سفید اتصال می‌یابند. شکل (۷۶ ـ ۲).

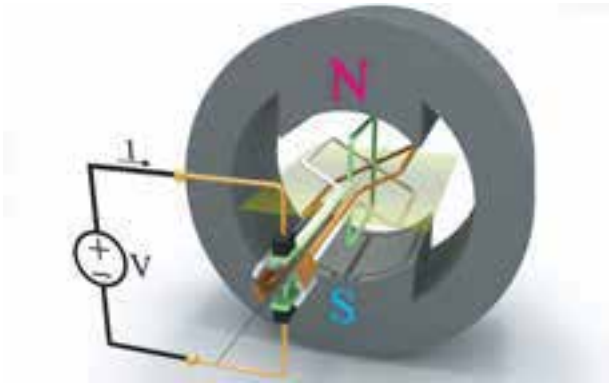



**شکل ۷۶ ـ ۲**

در این شـــرایط جریان از حلقه سفید می‌گذرد و در آن گشـــتاور ایجاد می‌شـــود. حلقه قهوه‌ای فاقد جریان می‌شود و در آن گشتاور ایجاد نمی‌شود. این بار حلقه‌ها به ســـبب گشـــتاور ایجاد شـــده در حلقه سفید گردش می‌کنند.

به‌طوری که مشاهده شد با قرار دادن دو حلقه عمود بر هـــم، که بر روی یک محور قرار دارند لحظه‌ای وجود نخواهد داشـــت که هر دو حلقه فاقد جریان شـــوند. لذا گشتاور هیچ‌گاه صفر نمی‌شود. بنابراین تغییرات گشتاور کاهـــش می‌یابـــد و موتور در هـــر وضعیتـــی راه‌اندازی می‌شود.

یک موتور جریان مســـتقیم با ســـه حلقه در شـــکل (۷۷ ـ ۲) نشان داده شده است.



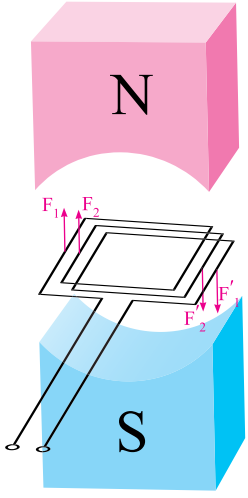

**شکل ۷۷ ـ ۲**

جاروبک‌ها همواره به کموتاتوری اتصال می‌یابند که حلقـــه مربوط بـــه آن در وضعیت گشـــتاور حداکثر قرار دارد.

ب ـ افزایش تعداد دور حلقه

گشتاور ایجاد شـــده در موتور ساده جریان مستقیم تک حلقه‌ای شـــکل (۶۶ ـ ۲) بسیار کم بوده و کاربردی نمی‌باشـــد؛ این عیب بزرگی برای موتور ساده محسوب می‌شود.

به منظور افزایش گشتاور از حلقه با تعداد دور بیش‌تر (کلاف) استفاده می‌شود. شکل (۷۸ ـ ۲).



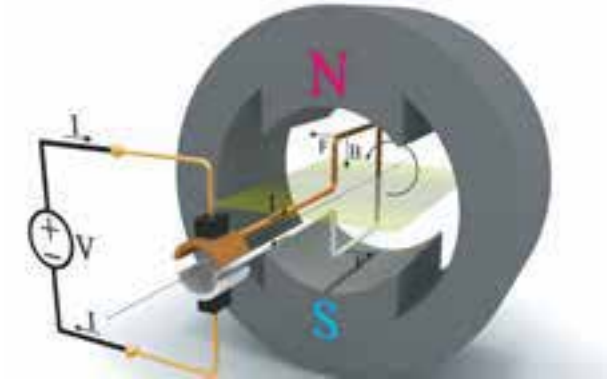

**شکل ۷۸ ـ ۲**

در این صورت در هر دور حلقه گشتاور ایجاد می‌شود و گشتاور افزایش می‌یابد[۱].

۱. با توجه به رابطه گشتاور $T=F\times r$ به هر یک از بازوی حلقه‌ها نیرویی وارد می‌شود. این نیروها با یک‌دیگر جمع می‌شوند و به‌صورت یک نیروی واحد گشتاور بزرگ‌تری ایجاد می‌کنند.

### ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ تغییر جهت گردش

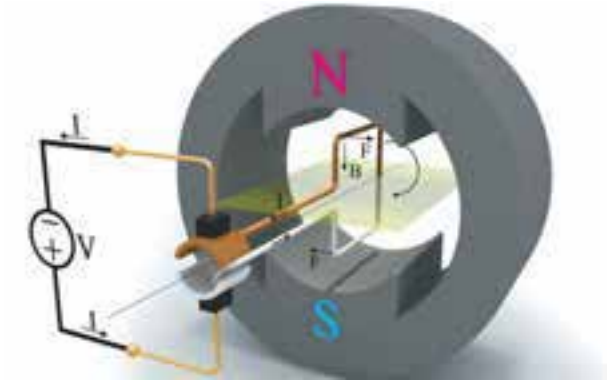
موتور ساده جریان مستقیم متصل به منبع ولتاژ در شکل (۷۹ ـ ۲) نشان داده شده است.




**شکل ۷۹ ـ ۲**

جریان الکتریکی پس از خروج از پلارتیه مثبت منبع از طریق جاروبک و تیغه کموتاتور به حلقه می‌رسد و با عبور از آن از طریق تیغه کموتاتور و جاروبک به پلاریته منفی منبع می‌رسد. جهت نیروی مغناطیسی هر بازو با به‌کار بردن قانون دست چپ مطابق شکل تعیین می‌شود. گشتاور ناشی از این نیروها، حلقه را حول محورش در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌گرداند.

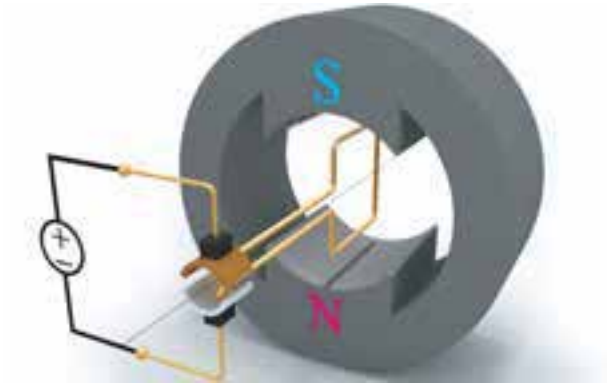
با تعویض پلاریته‌های منبع ولتاژ، جهت جریان در حلقه عوض می‌شود. لذا جهت نیروهای مغناطیسی وارد به هر بازوی حلقه نیز عوض می‌شود و گشتاور ناشی از این نیروها، حلقه را حول محورش در جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌گرداند. شکل (۸۰ ـ ۲).



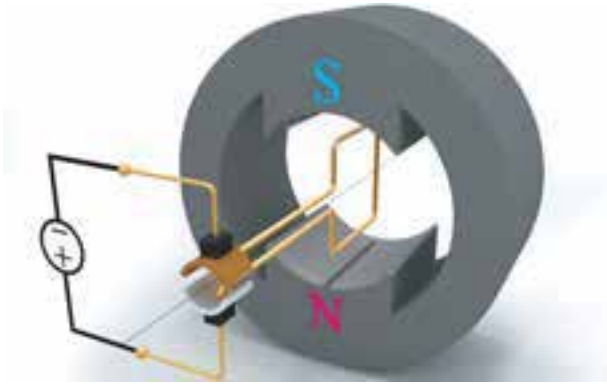

**شکل ۸۰ ـ ۲**

### فعالیت ۶ ـ ۲

۱ ـ جهت گردش حلقه در شکل‌های (۸۱ ـ ۲) و (۸۲ ـ ۲) را تعیین کنید.




**شکل ۸۱ ـ ۲**




**شکل ۸۲ ـ ۲**

۲ ـ از مقایسه شکل (۷۹ ـ ۲) با شکل (۸۰ ـ ۲) چه نتیجه‌ای به‌دست می‌آید؟

.....

.....

.....

۳ ـ از مقایسه شکل (۷۹ ـ ۲) با شکل (۸۱ ـ ۲) چه نتیجه‌ای به‌دست می‌آید؟

.....

.....

.....

۴ ـ از مقایسه شکل (۷۹ ـ ۲) با شکل (۸۲ ـ ۲) چه نتیجه‌ای به‌دست می‌آید؟

.....

.....

.....

بنابرایـــن با دو روش جهت گـــردش حلقه در موتور ساده جریان مستقیم تغییر می‌یابد این روش‌ها عبارتند از:

۱ ـ تعویض پلاریته منبع ولتاژ به منظور تغییر جهت جریان حلقه

۲ ـ تعویـــض محـــل قطب‌ها به منظـــور تغییر جهت میدان مغناطیسی

در موتورهای جریان مســـتقیم عمـــلاً تعویض محل قطب‌ها به دلایلی که بعداً شرح داده می‌شود امکان‌پذیر نیست! لذا تغییر جهت گردش تنها با تغییر جهت جریان حلقه فراهم می‌شود.

## پرسش ۵ ـ ۲

### پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ موتورهای جریان مســـتقیم، انرژی ..... را به انرژی ..... تبدیل می‌کنند.

۲ ـ برای یکنواخت شدن گشتاور و راه‌اندازی در هر وضعیتی ..... را در موتور ســـاده جریان مســـتقیم ..... می‌دهند.

۳ ـ به منظـــور افزایش ..... از حلقه با ..... بیش‌تر استفاده می‌شود.

### پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ در موتور ساده جریان مستقیم با قرار گرفتن حلقه در صفحه خنثی گشتاور وارد به آن صفر می‌شود.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ در موتور ســـاده جریان مســـتقیم گشتاور بسیار زیاد و یکنواخت است.

صحیح ☐ غلط ☐

### پرسش‌های تشریحی

۱ ـ طرز کار موتور ســـاده جریان مســـتقیم را شرح دهید.

۲ ـ وظیفه کموتاتور در موتور ساده جریان مستقیم را بنویسید.

۳ ـ معایب موتور ساده جریان مستقیم را بنویسید.

۴ ـ اثر افزایـــش تعداد حلقه‌ها و تعداد دور حلقه در موتور ساده جریان مستقیم را شرح دهید.

۵ ـ برای تغییر جهت گردش در موتور ســـاده جریان مستقیم چه باید کرد؟

## ۱۰ ـ ۲ ـ ساختمان ماشین‌های جریان مستقیم

پس از آشـــنایی با طرز کار ماشین‌های ساده جریان مســـتقیم (ژنراتور و موتـــور) اینک به ســـاختمان آن‌ها پرداخته می‌شود.

ماشین‌های جریان مستقیم در عمل دارای ساختمان پیچیده‌تری می‌باشـــند و به لحاظ شـــکل ظاهری کمی متفاوت هستند. این پیچیدگی و تفاوت در مقایسه آن‌ها با ماشین‌های جریان متناوب محسوس می‌باشد، تصویر ظاهری یک ماشـــین جریان مستقیم در شکل (۸۳ ـ ۲) نشان داده شده است.

**شکل ۸۳ ـ ۲ ماشین جریان مستقیم**

ساختمان ماشین‌های جریان مستقیم از دو قسمت اصلی تشکیل شده است:

قسمت ساکن یا استاتور[۱]

قسمت متحرک یا رتور[۲]

قسمت‌های ساکن و متحرک دارای اجزایی می‌باشند که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

## ۱ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ اجزای قسمت ساکن

قسمت ساکن یا استاتور یک ماشین جریان مستقیم در شکل (۸۴ ـ ۲) نشان داده شده است. اجزای آن عبارتند از:

- بدنه
- قطب‌های مغناطیسی
- سیم پیچی میدان
- جاروبک و جاروبک نگه‌دار

### بدنه

بدنه[۳] نقش تکیه‌گاه و حفاظت از سایر اجزای ماشین را ایفا می‌کند. بر روی بدنه پایه‌ها قرار دارند تا بوسیله پیچ و مهره، ماشین در محل مورد نظر نصب شود.

**شکل ۸۴ ـ ۲**

بر روی بدنه تخته کلم قرار دارد. با هدایت سرهای سیم‌پیچی‌های ماشین به سوی تخته کلم، امکان اتصال به مدار خارجی فراهم می‌شود. در ماشین‌هایی که ارزانی نقش مهم‌تری در مقابل وزن دارد، بدنه را از جنس چدن می‌سازند؛ در غیر این صورت بدنه را از جنس فولاد انتخاب می‌نمایند.

### قطب‌های مغناطیسی

تامین میدان مغناطیسی مورد نیاز ماشین جریان مستقیم وظیفه قطب‌های مغناطیسی است، قطب‌های مغناطیسی در بدنه ماشین جاسازی می‌شوند و در صورت نیاز با پیچ محکم خواهند شد. تعداد قطب‌های مغناطیسی همواره زوج است و جنس آن از ورقه‌های

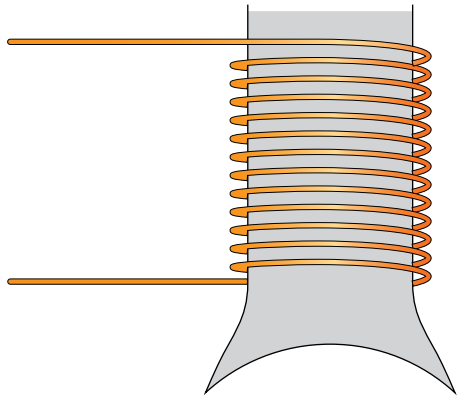
۱. Stator ۲. Rotor ۳. Yoke

فولاد الکتریکی می‌باشد.

در برخی از ماشین‌های جریان مستقیم در بین قطب‌های مغناطیسی، قطب‌هایی بنام «قطب کموتاسیون[1]» یا «میان قطب[2]» تعبیه می‌شود که به وظایف آن‌ها بعداً پرداخته می‌شود.

### سیم‌پیچی میدان

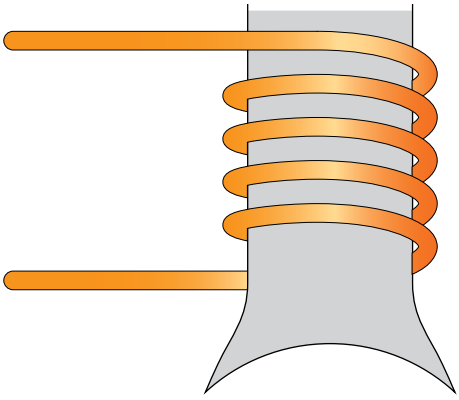
با اعمال جریان dc به سیم‌پیچی میدان[3]، میدان مغناطیسی اصلی ماشین جریان مستقیم فراهم می‌شود. برای ایجاد میدان مغناطیسی در قطب‌های ماشین نیاز به آمپر دور مشخصی است. برای جریان‌های کم بایستی تعداد دور سیم‌پیچی میدان زیاد باشد ولی چون مقدار جریان کم است، سطح مقطع سیم کم می‌باشد. شکل (۸۵ ـ ۲)



**شکل ۸۵ ـ ۲ سیم‌پیچی میدان برای جریان کم**

در جریان‌های زیاد تعداد دور کمی برای سیم‌پیچی میدان لازم است، ولی چون جریان زیاد است بایستی سطح مقطع سیم بزرگ باشد. شکل (۸۶ ـ ۲)

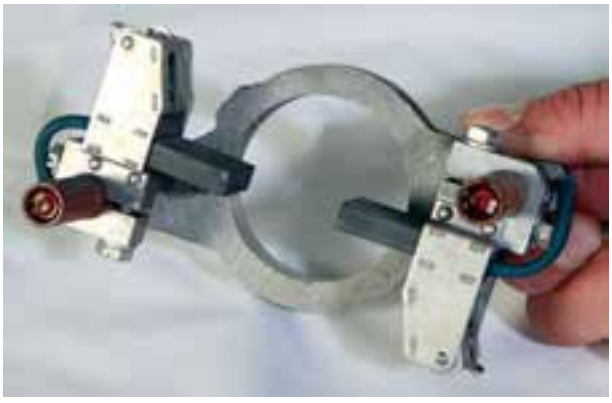
از آنجایی که «سیم‌پیچی میدان» در قسمت ساکن ماشین‌های جریان مستقیم قرار دارد آن را «سیم‌پیچی استاتور» نیز خطاب می‌کنند. و به‌طور کلی اصطلاح «سیم‌پیچی» به آن اطلاق می‌شود.



**شکل ۸۶ ـ ۲ سیم‌پیچی میدان برای جریان زیاد**

### جاروبک و جاروبک نگه‌دار

در قسمت ساکن ماشین‌های جریان مستقیم وسیله‌ای به نام جاروبک نگه‌دار[4] نصب شده است. وظیفه جاروبک نگه‌دار، قرار دادن صحیح جاروبک‌ها روی تیغه‌های کموتاتور است. جاروبک‌ها در جاروبک‌نگه‌دار قرار می‌گیرند و توسط فنری با فشار قابل تنظیم بر روی کموتاتور فشار داده می‌شوند. شکل (۸۷ ـ ۲)



**شکل ۸۷ ـ ۲ جاروبک نگه‌دار**

## ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ اجرای قسمت متحرک

قسمت متحرک یا رتور یک ماشین جریان مستقیم در شکل (۸۸ ـ ۲) نشان داده شده است.

۱. Commutating Pole ۲. Inter Pole ۳. Field Winding ۴. Brush Holder

شکل ۸۸ ـ ۲ رتور ماشین جریان مستقیم

اجزای آن عبارت است از:

- هسته رتور
- سیم‌پیچی رتور
- کموتاتور
- محور
- پروانه خنک‌کننده

وظیفه هر یک از این اجزا به شرح زیر است.

### هسته رتور

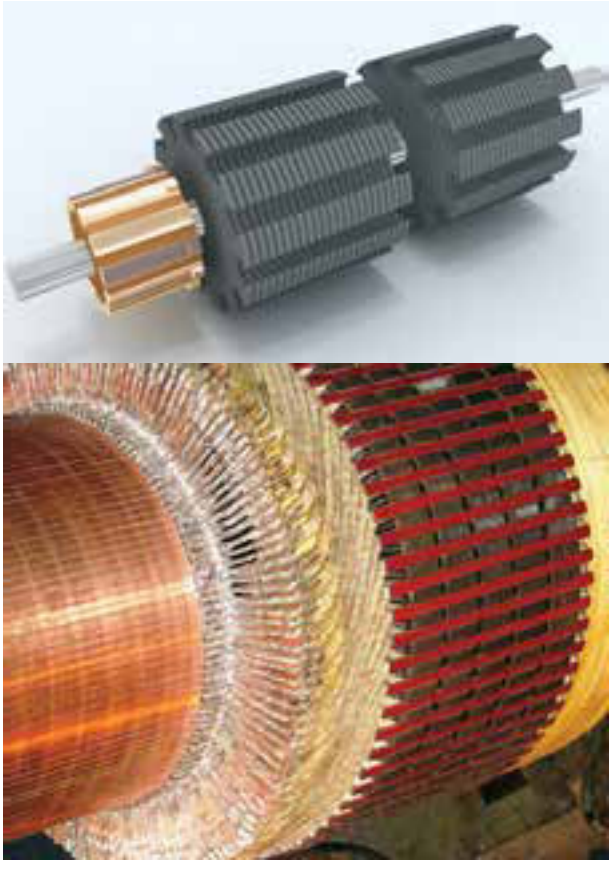
هسته رتور از ورقه‌های فولادی سلیس‌دار ساخته می‌شود که با یک لایه نازک از هم عایق شده‌اند بر روی هسته رتور شیارهایی[1] تعبیه شده است تا سیم‌پیچ‌ها در داخل آن‌ها قرار گیرند. این شیارها ممکن است به صورت باز یا نیمه باز باشند.

در هنگام کار ماشین‌های جریان مستقیم هسته رتور گرم می‌شود. برای خنک شدن هسته، معمولاً رتورها را به‌صورت «تهویه محوری» یا «تهویه شعاعی» می‌سازند.

در رتورهای با تهویه محوری، سوراخ‌هایی در امتداد هسته ایجاد می‌کنند تا در اثر نفوذ جریان هوا به این سوراخ‌ها هسته خنک شود. شکل (۸۹ ـ ۲)

شکل ۸۹ ـ ۲ هسته رتور با تهویه محوری

در رتورهای با تهویه شعاعی هسته از چند دسته ورق با طول ۴ تا ۱۰ سانتی‌متر که با یک‌دیگر ۸ تا ۱۰ میلی‌متر فاصله دارند تشکیل می‌گردد. شکل (۹۰ ـ ۲)



شکل ۹۰ ـ ۲ هسته با تهویه شعاعی

### سیم‌پیچی رتور

سیم‌پیچی رتور از کلاف‌های مشابهی تشکیل شده

۱. Slots

است. این سیم‌پیچی مبتنی بر اصول فنی می‌باشد و از طراحی ماشین‌های جریان مستقیم تبعیت می‌کند. در بخش ۱۱ ـ ۲ در حد مورد نیاز، سیم‌پیچی رتور مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

از آنجایی‌که در ماشین‌های جریان مستقیم ولتاژ اصلی در «سیم‌پیچی رتور» القا می‌شود اصطلاح «سیم‌پیچی آرمیچر» نیز به آن اطلاق می‌شود. «رتور» ماشین‌های جریان مستقیم نیز به «آرمیچر» موسوم است.

### کموتاتور

کموتاتور[1] از تیغه‌های مسی که توسط عایق میکا نسبت به یک‌دیگر و محور ماشین عایق شده‌اند تشکیل می‌شود. ابتدا و انتهای کلاف‌های سیم‌پیچی رتور توسط لحیم و یا پرس کردن به تیغه کموتاتور وصل می‌شود. شکل (۹۱ ـ ۲)

**شکل ۹۱ ـ ۲ کموتاتور**

### محور

محور[2] رتور ماشین‌های جریان مستقیم تکیه‌گاهی برای سایر اجزای رتور می‌باشد. محور باید از فولادی تهیه شود که خاصیت مغناطیسی آن کم، اما استحکام مکانیکی کافی در مقابل تنش‌های برشی، خمشی، کششی و پیچشی را دارا باشد.

### پروانه خنک کننده

پروانه خنک‌کننده[3] یا «فن» با ایجاد جریان هوا در داخل ماشین، موجب انتقال سریع‌تر گرمای ایجاد شده به خارج از ماشین می‌شود. لذا دمای کار ماشین در یک حد مشخص محدود می‌شود و سبب ازدیاد عمر مفید ماشین خواهد شد.

پروانه خنک‌کننده ماشین‌های جریان مستقیم با قدرت کم روی محور رتور نصب می‌شود و با گردش رتور می‌گردد و جریان هوا به‌وجود می‌آورد. شکل (۸۸ ـ ۲) اما ماشین‌های با قدرت متوسط و زیاد فاقد پروانه خنک‌کننده روی محور رتور می‌باشند و تهویه ماشین توسط فن جداگانه‌ای که دارای فیلتر هوا به منظور جذب ذرات گرد و غبار می‌باشد و توسط یک موتور سه فاز به گردش در می‌آید صورت می‌پذیرد. تصویر یک ماشین جریان مستقیم مجهز به فن جداگانه در شکل (۹۲ ـ ۲) نشان داده شده است.

**شکل ۹۲ ـ ۲ ماشین جریان مستقیم مجهز به فن جداگانه**

۱. Commutator ۲. Shaft ۳. Fan

تصویر برش خورده یک ماشین جریان مستقیم با فن جداگانه در شکل (۹۳ ـ ۲) نشان داده شده است. در این شکل فیلتر و فن را مشاهده می‌کنید.

**شکل ۹۳ ـ ۲**

## پرسش ۶ ـ ۲

### پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ تامین میدان مغناطیسی مورد نیاز ماشین جریان مستقیم وظیفه ..... است.

۲ ـ سیم‌پیچی میدان، برای جریان‌های کم دارای تعداد دور ..... و سطح مقطع سیم ..... می‌باشد.

۳ ـ وظیفه جاروبک نگه‌دار، قرار دادن صحیح ..... روی تیغه‌های ..... است.

۴ ـ روش تهویه رتور ماشین‌های جریان مستقیم به‌صورت ..... و ..... است.

۵ ـ در ماشین‌های جریان مستقیم ولتاژ اصلی در ..... القا می‌شود.

۶ ـ کموتاتور از تیغه‌های ..... که توسط عایق ..... نسبت به یک‌دیگر و محور ماشین عایق شده‌اند تشکیل شده است.

### پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ بدنه نقش تکیه‌گاه و حافظت از سایر اجزای ماشین را ایفا می‌کند.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ تعداد قطب‌های ماشین همواره فرد است و جنس آن از ورقه فولادی است.

صحیح ☐ غلط ☐

### پرسش‌های تشریحی

۱ ـ اجزای قسمت ساکن ماشین‌های جریان مستقیم را نام ببرید.

۲ ـ سیم‌پیچی میدان برای جریان‌های زیاد چگونه طراحی می‌شود؟

۳ ـ اجزای قسمت متحرک ماشین‌های جریان مستقیم را نام ببرید.

۴ ـ روش‌های تهویه رتور ماشین‌های جریان مستقیم را توضیح دهید.

۵ ـ چرا به رتور ماشین‌های جریان مستقیم، آرمیچر می‌گویند؟

۶ ـ ویژگی‌های محور رتور را بنویسید.

۷ ـ وظیفه پروانه خنک کننده را بنویسید.

۸ ـ تهویه ماشین‌های جریان مستقیم با قدرت کم و زیاد چگونه صورت می‌پذیرد؟

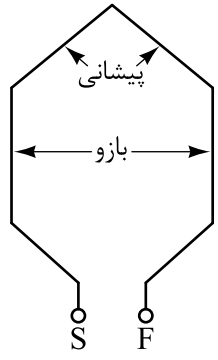
## ۱۱ ـ ۲ ـ سیم‌پیچی آرمیچر ماشین‌های جریان مستقیم

در ماشین‌های جریان مستقیم، نحوه سری و موازی کردن کلاف‌های سیم‌پیچی رتور تحت عنوان «سیم‌پیچی آرمیچر»[۱] مطرح می‌شود. به طور کلی اصطلاح «سیم‌پیچی آرمیچر» به سیم‌پیچی‌هایی اطلاق می‌شود که نیروی محرکه اصلی در آن‌ها القا می‌شود.

در این بخش به شیوه‌های اتصال کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر به یک‌دیگر از طریق تیغه‌های کموتاتور پرداخته می‌شود. با معرفی روش‌های «ترسیم سیم‌پیچی آرمیچر» به تاثیر این شیوه‌ها بر نیروی محرکه القایی، جریان و گشتاور ماشین‌های جریان مستقیم اشاره خواهد شد[۲].

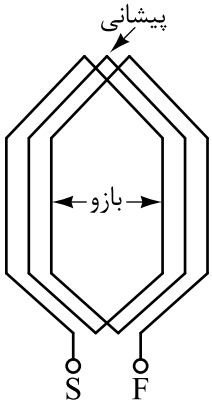
برخی از واژه‌های مربوط به سیم‌پیچی در ذیل آورده شده است:

«حلقه»[۳] شامل یک دور هادی است. قسمتی از حلقه که درون شیار قرار می‌گیرد «بازو» نام دارد و قسمتی که در بیرون شیار قرار می‌گیرد «پیشانی» نامیده می‌شود. هر حلقه دارای یک سر و ته می‌باشد. سر حلقه را با حرف «S»[۴] و ته آن را با حرف «F»[۵] نشان می‌دهند. شکل (۹۴ ـ ۲)



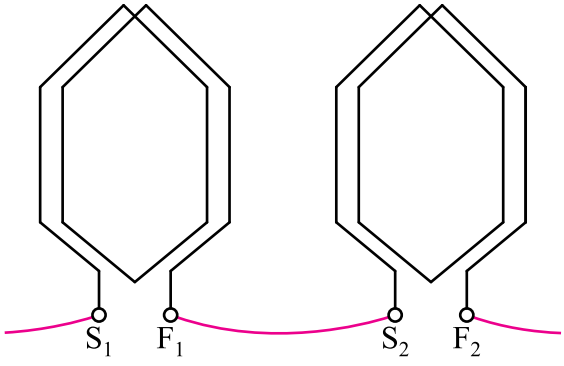

**شکل ۹۴ ـ ۲**

«کلاف»[۶] از اتصال سری چندین حلقه تشکیل شده است. برای کلاف نیز می‌توان همانند حلقه، بازو، پیشانی و سر و ته در نظر گرفت. شکل (۹۵ ـ ۲).

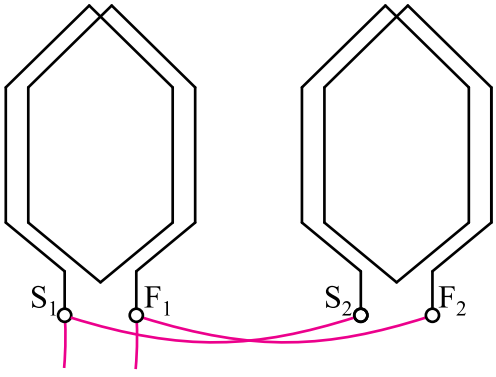



**شکل ۹۵ ـ ۲**

«سیم‌پیچی»[۷] از اتصال چندین کلاف تشکیل شده است. این اتصال می‌تواند به‌صورت سری یا موازی و یا ترکیب سری و موازی باشد. شکل (۹۶ ـ ۲)




**الف ـ اتصال سری کلاف‌ها**



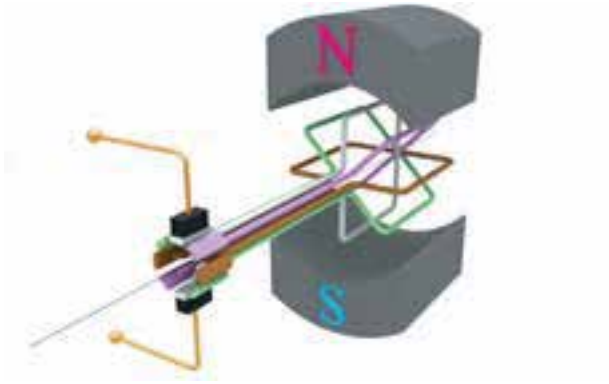

**ب ـ اتصال موازی کلاف‌ها**

**شکل ۹۶ ـ ۲**

۱. Armature Winding
۲. جزییات بیش‌تر سیم‌پیچی آرمیچر را در درس «تکنولوژی کارگاه سیم‌پیچی» خواهید آموخت.
۳. Turn
۴. Start
۵. Final
۶. Coil
۷. Winding

## ۱۲ ـ ۲ ـ روش‌های ترسیم سیم‌پیچی آرمیچر

در قسمت‌های قبل مشاهده شد برای قابل استفاده و کاربردی شدن ژنراتور و موتور ساده جریان مستقیم تعداد حلقه‌های آن‌ها افزایش داده می‌شود. شکل‌های (۴۶ ـ ۲) و (۷۵ ـ ۲). ماشین جریان مستقیمی با چهار حلقه و هشت تیغه کموتاتور در نظر است. شکل (۹۷ ـ ۲).

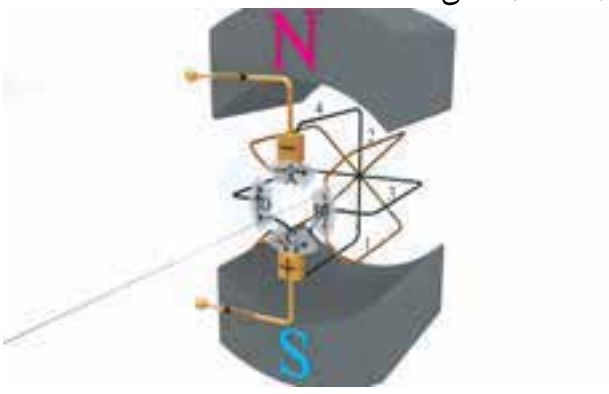



**شکل ۹۷ ـ ۲**

مشاهده می‌شود در هر لحظه فقط یک یا دو حلقه دارای جریان می‌شوند و حلقه‌های دیگر فاقد جریان الکتریکی هستند و نقش موثری در تمام لحظات در ماشین ایفا نمی‌کنند. در واقع به دلیل عدم ارتباط الکتریکی بین این حلقه‌ها، افزایش بیش‌تر تعداد حلقه‌ها با این شیوه تاثیر چندانی در کارآیی ماشین نگذاشته است.

برای برقراری ارتباط الکتریکی بین حلقه‌ها روش‌هایی به‌کار گرفته می‌شود که حلقه‌ها را به‌صورت سری و موازی از طریق تیغه‌های کموتاتور به یک‌دیگر متصل می‌کنند تا جریان الکتریکی از آن‌ها عبور کند. با این عمل در موتورها تغییرات گشتاور به حداقل مقدار ممکن می‌رسد و گشتاور یکنواخت خواهد شد و در ژنراتورها ضربان نیروی محرکه القایی نیز به حداقل مقدار ممکن می‌رسد و مقدار متوسط آن افزایش می‌یابد.

نمونه‌ای از سری و موازی شدن حلقه‌ها در شکل (۹۸ ـ ۲) نشان داده شده است.




**شکل ۹۸ ـ ۲ طرح یک ماشین ۴ کلافی**

این شکل یک ماشین جریان مستقیم دو قطب با چهار کلاف و چهار تیغه کموتاتور را نشان می‌دهد. به منظور پرهیز از شلوغ شدن شکل کلاف‌ها به‌صورت حلقه نشان داده شده‌اند.

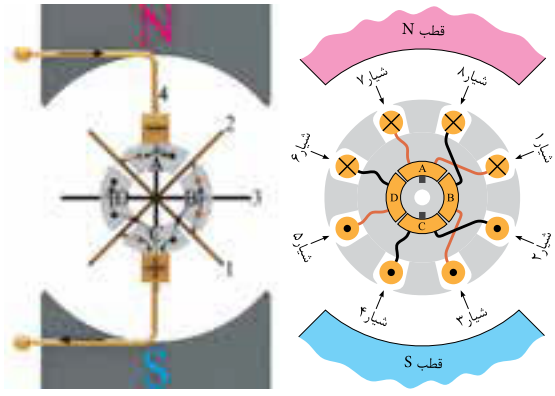
دو حلقه مشکی از طریق تیغه D و دو حلقه قهوه‌ای از طریق تیغه B با هم سری شده‌اند؛ هر یک از حلقه‌های مشکی و قهوه‌ای از طریق تیغه‌های A و C با هم موازی خواهند شد. بدین ترتیب جریان الکتریکی از طریق جاروبک به تیغه A وارد می‌شود و پس از عبور از حلقه‌های مشکی و قهوه‌ای به تیغه C می‌رسد و از طریق جاروبک خارج می‌شود. لذا جریان الکتریکی از تمام حلقه‌ها می‌گذرد و آن‌ها در کار ماشین موثر خواهند شد.

ترسیم سیم‌پیچی آرمیچر مطابق شکل (۹۸ ـ ۲) بسیار دشوار است. لذا روش‌های ترسیمی دیگری به‌کار می‌رود. این روش‌ها عبارت است از:

- دیاگرام دایره‌ای (مقطعی)
- دیاگرام خطی (راه جریان)
- دیاگرام گسترده (باز)
- دیاگرام سریع (دندانه اره‌ای)

### ۱ ـ ۱۲ ـ ۲ ـ دیاگرام دایره‌ای

دیاگـرام دایره‌ای، نمـای روبروی رتـور و کموتاتور است. در این دیاگرام «سـربندی کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچـر» یعنـی اتصال سـر و ته کلاف بـه تیغه‌های کموتاتور مشـخص می‌شـود و جهت جریان هر یک از بازوهای کلاف در هر یک از شـیارهای رتور نشان داده می‌شـود. کلاف‌های رتور و کموتاتور شکل (۹۸ ـ ۲) در شکل (۹۹ ـ ۲) نشان داده شده است.



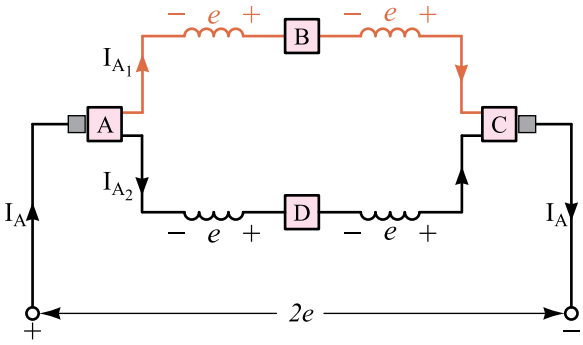

**شکل ۹۹ ـ ۲**

### ۲ ـ ۱۲ ـ ۲ ـ دیاگرام خطی

در دیاگـرام خطـی چگونگـی ارتبـاط کلاف‌ها به یک‌دیگر و اتصال سر و ته آن‌ها به تیغه‌های کموتاتور به صورت دیگری ترسیم می‌شود.

این دیاگرام نشـان می‌دهد چگونه با موازی شـدن کلاف‌ها، مسـیرهای موازی برای عبور جریان الکتریکی ایجـاد می‌شـود و کلاف‌هایی که در این مسـیرها قرار می‌گیرند با یک‌دیگر سـری می‌شـوند تا نیروی محرکه القایی آن‌ها با هم جمع شـود. هر یک از این مسیرهای موازی جریان «راه جریان» نام دارد.

دیاگرام خطی کلاف‌های سـیم‌پیچی آرمیچر شکل (۹۸ ـ ۲) در شکل (۱۰۰ ـ ۲) نشان داده شده است.




**شکل ۱۰۰ ـ ۲ دیاگرام خطی ماشین چهار قلافی دو قطب**

در این شـکل لحظه‌ای که جاروبک‌ها با تیغه‌های A و C کموتاتور در تماس هستند مشاهده می‌شود. جریان آرمیچر $I_A$ از طریق تیغه A کموتاتور بین دو راه جریان که توسـط کلاف‌های قهوه‌ای و مشکی ایجاد شده است تقسـیم می‌شود و جریان‌های $I_{A_1}$ و $I_{A_2}$ را در هر مسیر جـاری می‌کند. کلاف‌های هر یک از این راه‌های جریان توسط تیغه‌های B و C کموتاتور سری شده‌اند و نیروی محرکه القایی $e$ آن‌ها با هم جمع می‌شود و ولتاژ $2e$ را بین تیغه‌های A و C کموتاتور به‌وجود می‌آورند.

تعـداد راه‌های جریان را با a نشـان می‌دهند لذا در این دیاگرام $a = 2$ است.

## فعالیت ۶ ـ ۲

با گـردش رتور و قرار گرفتـن جاروبک‌ها در مقابل تیغه‌هـای B و D نحوه سـری و موازی شـدن کلاف و تقسیم جریان را بررسی کنید.

### ۳ ـ ۱۲ ـ ۲ ـ دیاگرام گسترده

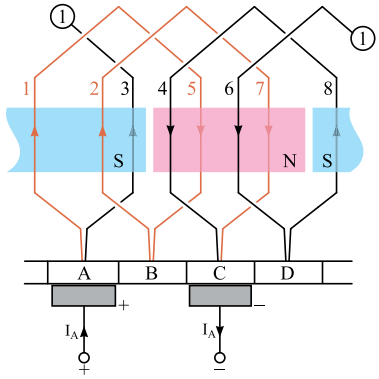
دیاگرام گسـترده، موقعیت هر کلاف در شـیارهای رتور و نحوه اتصال سر و ته آن‌ها را به تیغه‌های کموتاتور

نشان می‌دهد. در این دیاگرام با توجه به جهت جریان در کلاف‌ها محل قطب‌های مغناطیسی سیم‌پیچی آرمیچر نیز مشخص می‌شود.

از دیاگرام گسترده اطلاعات مربوط به سیم پیچی و سربندی کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر به‌دست می‌آید و برای سیم‌پیچی عملی آرمیچر مناسب‌تر است.

در ترسیم دیاگرام گسترده، رتور و کموتاتور را که استوانه‌ای هستند برش طولی، در امتداد شیارها می‌دهند و آن‌ها را به‌صورت صفحه‌ای ترسیم می‌کنند. به تعداد شیارهای رتور خطوطی به‌طور عمودی رسم می‌شود. در صورتی‌که در هر شیار دو بازو از دو کلاف مختلف قرار گرفت، بازویی که در بالای شیار قرار می‌گیرد با خط پر و بازویی که در پایین شیار قرار می‌گیرد را با خط‌چین نشان می‌دهند.

با ایجاد یک برش فرضی در شکل (۹۸ ـ ۲) دیاگرام گسترده آن مطابق شکل (۱۰۱ ـ ۲) ترسیم می‌شود.




**شکل ۱۰۱ ـ ۲ دیاگرام گسترده ماشین چهار کلافی دو قطب**

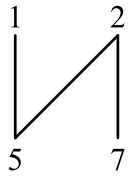
جریان آرمیچر $I_A$ از طریق جاروبک متصل به تیغه A کموتاتور به سیم‌پیچی وارد می‌شود و از طریق جاروبک متصل به تیغه C کموتاتور از آن خارج می‌شود. مشاهده می‌شود بازوی کلاف‌های با جهت جریان یکسان در کنار هم قرار گرفته‌اند و به‌طور مشترک قطب‌های مغناطیسی در رتور به‌وجود می‌آورند.

### ۴ ـ ۱۲ ـ ۲ ـ دیاگرام سریع

دیاگرام سریع موقعیت هر بازوی کلاف در شیارهای رتور را نشان می‌دهد. معمولاً دیاگرام سریع بعد از دیاگرام گسترده ترسیم می‌شود. با توجه به دیاگرام گسترده شکل (۱۰۱ ـ ۲) مشاهده می‌شود کلافی که یکی از بازوهای آن در شیار ۱ رتور قرار دارد، بازوی دیگر آن در شیار ۵ قرار گرفته است. این فرآیند در دیاگرام سریع به‌صورت شکل (۱۰۲ ـ ۲) نشان داده می‌شود.

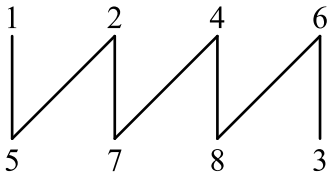
**شکل ۱۰۲ ـ ۲**

بازوی کلاف بعدی در شیارهای ۲ و ۷ قرار گرفته است لذا دیاگرام سریع به‌صورت شکل (۱۰۳ ـ ۲) در می‌آید.




**شکل ۱۰۳ ـ ۲**

با ادامه این روند دیاگرام سریع شکل (۱۰۱ ـ ۲) به‌صورت شکل (۱۰۴ ـ ۲) تکمیل می‌شود.




**شکل ۱۰۴ ـ ۲**

در صورتی‌که در شیارهای رتور دو بازو از دو کلاف قرار داشته باشد. بازویی را که در زیر قرار می‌گیرد با

اعداد پریم‌دار نشان می‌دهند.

## ۱۳ ـ ۲ ـ گام‌های سیم‌پیچی آرمیچر

سیم‌پیچی آرمیچر با گام‌های آن شناسایی می‌شود. این گام‌ها عبارتند از:

- گام قطبی[۱]
- گام رفت[۲] (گام جلو)
- گام برگشت[۳] (گام عقب)
- گام سیم‌پیچی[۴]
- گام کموتاتور[۵]

### گام قطبی

با عبور جریان الکتریکی از سیم‌پیچی آرمیچر در اطراف رتور آن قطب‌های مغناطیسی تشکیل می‌شود.

فاصله بین مرکز تا مرکز دو قطب غیرهمنام مجاور یک‌دیگر بر حسب شیار رتور را «گام قطبی» گویند.

گام قطبی را با $y_P$ نشان می‌دهند و از رابطه (۲ ـ ۷) به‌دست می‌آید.

$$y_P = \frac{S}{P} \qquad (۲-۷)$$

در این رابطه:

S تعداد شیارهای رتور

P تعداد قطب‌های رتور

$y_P$ گام قطبی بر حسب شیار رتور

**مثال ۳ ـ ۲ ـ** رتور ماشین جریان مستقیمی ۴ شیار دارد. اگر رتور دو قطب سیم‌پیچی شده باشد گام قطبی آن چقدر است؟

حل:

گام قطبی از رابطه (۲ ـ ۷) به‌دست می‌آید و برابر است با:

$$y_P = \frac{S}{P} = \frac{۴}{۲} = ۲ \text{ شیار}$$

### گام رفت

فاصله بین بازوهای یک کلاف سیم‌پیچی آرمیچر بر حسب شیار رتور را «گام رفت» گویند.

شکل (۱۰۵ ـ ۲) گام رفت را با $y_۱$ نشان می‌دهند و از رابطه (۲ ـ ۸) به‌دست می‌آید.

$$y_۱ = \frac{S}{P} \pm \varepsilon \qquad (۲-۸)$$

در این رابطه:

S تعداد شیارهای رتور

P تعداد قطب‌های رتور

$\varepsilon$ کوچک‌ترین عددی که کسر $\frac{S}{P}$ را گویا می‌کند.

$y_۱$ گام رفت

در رابطه (۲ ـ ۸) اگر:

$\varepsilon = ۰$ باشد، گام رفت برابر با گام قطبی خواهد شد و سیم‌پیچی را با «گام کامل[۶]» گویند.

$\varepsilon < ۰$ منفی باشد، گام رفت کوچک‌تر از گام قطبی می‌شود و سیم‌پیچی را با «گام کوتاه[۷]» گویند.

$\varepsilon > ۰$ مثبت باشد، گام رفت بزرگ‌تر از گام قطبی می‌شود و سیم‌پیچی را با «گام بلند[۸]» گویند.

---

۱. Pole Pitch
۲. Forward Pitch
۳. Back Pitch
۴. Coil Pitch
۵. Commutator Pitch
۶. Full Pitch
۷. Short Pitch
۸. Long Pitch

شکل ۱۰۵ ـ ۲

**مثـال ۳ ـ ۲ ـ** رتور یک ماشـین جریان مسـتقیم دارای چهار قطب و یازده شـیار می‌باشـد، گام رفت را تعیین کنید.

حل:

گام رفت از رابطه (۸ ـ ۲) به‌دست می‌آید:

$$y_1 = \frac{S}{P} \pm \varepsilon = \frac{11}{4} \pm \varepsilon$$

کسر $\frac{11}{4}$ گویا نیست و با $\varepsilon = +\frac{1}{4}$ گویا می‌شود.

$$y_1 = \frac{11}{4} + \frac{1}{4} = 3$$

$\varepsilon > 0$ انتخاب شد؛ پس سیم‌پیچی با گام بلند است.

### فعالیت ۸ ـ ۲

۱ ـ چرا در رابطه (۸ ـ ۲) $\varepsilon$ مطرح شده است.

۲ ـ در مثـال (۳ ـ ۲) چرا $\varepsilon = -\frac{3}{4}$ انتخاب نشـده است.

### گام برگشت

فاصلـه بین بـازوی دوم از کلاف اول تا بازوی اول از کلاف دوم سـیم‌پیچی آرمیچر بر حسـب شیار رتور را «گام برگشـت» می‌گویند و آن را با $y_2$ نشان می‌دهند. شکل (۱۰۶ ـ ۲)

شکل ۱۰۶ ـ ۲

### گام سیم‌پیچی

فاصله بین دو بازوی اول دو کلاف متوالی سیم‌پیچی آرمیچر بر حسـب شیار رتور را «گام سیم‌پیچی» گویند و آن را با $y$ نشان می‌دهند. شکل (۱۰۷ ـ ۲)

### گام کموتاتور

فاصله بین سـر و تـه یـک کلاف روی کموتاتور بر حسـب تعداد عایق بیـن تیغه‌های کموتاتـور را «گام کموتاتور» می‌گـویند. و آن را با $y_C$ نشـان مـی‌دهند. شـکل (۱۰۷ ـ ۲)

شکل ۱۰۷ ـ ۲

## پرسش ۷ ـ ۲

### پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ دیاگرام ..... نمای روبروی رتور و کموتاتور است.

۲ ـ دیاگرام گسترده موقعیت هر کلاف در ..... و نحوه اتصال سر و ته آن‌ها را به ..... نشان می‌دهد.

۳ ـ فاصله بین بازوهای یک کلاف بر حسب شیار رتور را ..... گویند.

### پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ دیاگرام خطی نشان می‌دهد چگونه با موازی شدن کلاف‌ها، مسیرهای موازی برای عبور جریان الکتریکی ایجاد می‌شود.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ دیاگرام سریع موقعیت هر بازوی کلاف در شیارهای رتور را نشان می‌دهد.

صحیح ☐ غلط ☐

۳ ـ فاصله بین دو بازوی اول دو کلاف متوالی بر حسب شیار را گام سیم‌پیچی گویند.

صحیح ☐ غلط ☐

### پرسش‌های تشریحی

۱ ـ مفاهیم مربوط به سیم‌پیچی آرمیچر را تعریف کنید:

الف ـ حلقه ب ـ کلاف پ ـ سیم‌پیچی

۲ ـ روش‌های ترسیمی سیم‌پیچی آرمیچر را نام ببرید؟

۳ ـ گام‌های سیم‌پیچی آرمیچر را نام ببرید.

۴ ـ گام قطبی را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.

۵ ـ گام برگشت را تعریف کنید.

۶ ـ گام کموتاتور را تعریف کنید.

## تمرین ۷ ـ ۲

۱ ـ گام قطبی رتور یک ماشین جریان مستقیم دو قطب برابر ۶ می‌باشد. تعداد شیارهای رتور را به‌دست آورید.

۲ ـ رتور یک ماشین جریان مستقیم دارای چهار قطب و سیزده شیار می‌باشد. گام رفت را به‌دست آورید.

## ۱۴ ـ ۲ ـ روش‌های سیم‌پیچی آرمیچر

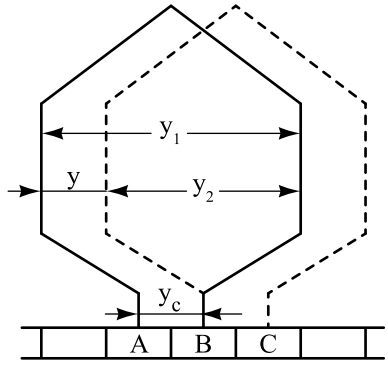
برای اتصال کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر به تیغه‌های کموتاتور ماشین‌های جریان مستقیم روش‌های گوناگونی وجود دارد. اما دو روش آن به‌نام «حلقوی[۱]» و «موجی[۲]» مشهورتر است. انجام هر یک از این اتصال‌ها به ترتیب باعث ایجاد «سیم‌پیچی حلقوی[۳]» و «سیم‌پیچی موجی[۴]» در رتور می‌شود.

سیم پیچی‌های حلقوی و موجی از نظر شکل سیم‌پیچی و نحوه اتصال کلاف‌ها به تیغه‌های کموتاتور با یک‌دیگر متفاوت هستند. این تفاوت در تعداد راه‌های جریان و ترتیب اتصال سر و ته کلاف‌ها به تیغه‌های کموتاتور می‌باشد.

سیم‌پیچی‌های حلقوی و موجی به دو صورت «ساده» و «مرکب» اجرا می‌شوند.

### ۱ ـ ۱۴ ـ ۲ ـ سیم‌پیچی حلقوی ساده

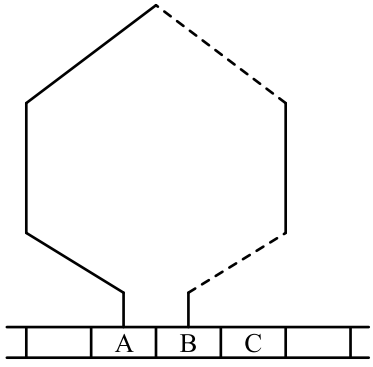
سربندی دو کلاف به تیغه‌های کموتاتور به‌صورت سیم‌پیچی حلقوی ساده به همراه گام‌های آن در دیاگرام گسترده شکل (۱۰۸ ـ ۲) نشان داده شده است.




**شکل ۱۰۸ ـ ۲ دیاگرام گسترده دو کلاف از سیم‌پیچی حلقوی ساده**

در این شکل ته هر کلاف به یک تیغه کموتاتور اتصال می‌یابد و این تیغه محل اتصال سرکلاف بعدی خواهد شد و این روند ادامه می‌یابد تا این‌که تمام سر و ته کلاف‌ها به ترتیب به تیغه و تیغه مجاور آن متصل می‌شود. این نوع سیم پیچی اسم حقیقی خود را دارد؛ زیرا کلاف‌ها پس از اتصال به تیغه‌های کموتاتور تشکیل حلقه‌های پشت سر هم را می‌دهند.

سیم‌پیچی حلقوی به دو صورت «راست‌گرد» یا «پیش رونده[۵]» و «چپ‌گرد» یا «پس رونده[۶]» سربندی می‌شود. سربندی کلاف از نوع راست‌گرد در شکل (۱۰۹ ـ ۲) نشان داده شده است.

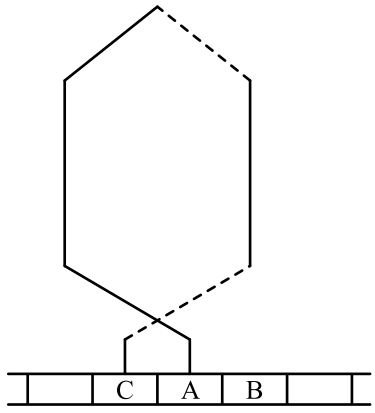



**شکل ۱۰۹ ـ ۲ کلاف با سربندی حلقوی راست گرد**

در سیم‌پیچی راست‌گرد ته کلاف به تیغه کموتاتوری که در سمت راست سر کلاف قرار دارد اتصال داده می‌شود.

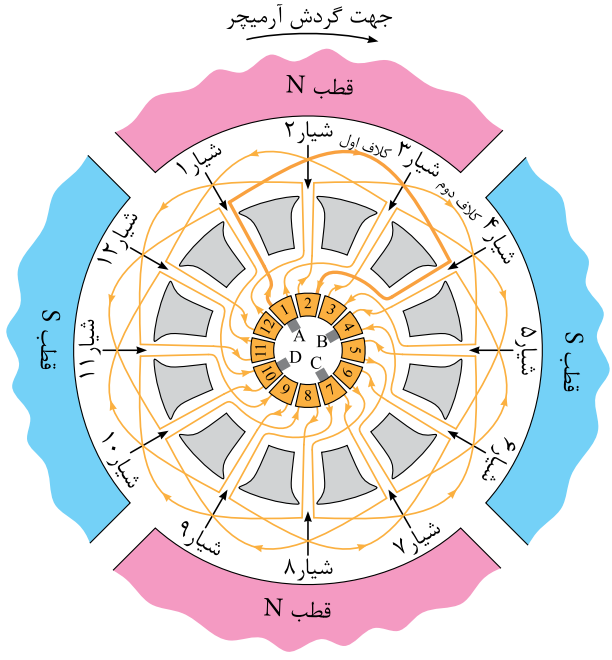
سربندی کلاف از نوع چپ‌گرد در شکل (۱۱۰ ـ ۲) نشان داده شده است. در سیم‌پیچی چپ‌گرد ته کلاف به تیغه کموتاتوری که در سمت چپ سرکلاف قرار دارد اتصال داده می‌شود.

۱. Lap
۲. Wave
۳. Lap Winding
۴. Wave Winding
۵. Progressive
۶. Retrogressive




**شکل ۱۱۰ ــ ۲ کلاف با سربندی حلقوی چپ‌گرد**

دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور در شکل (۱۱۱ ـ ۲) نشان داده شده است.




**شکل ۱۱۱ ــ ۲ دیاگرام دایره‌ای رتور ۱۲ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچی حلقوی ساده**

رتور ۱۲ شیار و ۴ قطب دارد و از رابطه (۷ ـ ۲) گام قطبی به‌دست می‌آید:

$$y_P = \frac{S}{P} = \frac{۱۲}{۴} = ۳$$

در این شکل یکی از کلاف‌ها پررنگ‌تر نشان داده شده است؛ آن را کلاف اول می‌نامیم. بازوی اول این کلاف در شیار ۱ رتور قرار دارد و بازوی دوم آن در شیار ۴ رتور قرار گرفته است. بین بازوی اول و دوم این کلاف ۳ شیار فاصله است و طبق تعریف، گام رفت $y_۱ = ۳$ می‌شود. چون گام رفت با گام قطبی برابر است سیم‌پیچی «گام کامل» می‌باشد.

سر کلاف اول به تیغه ۱ کموتاتور اتصال دارد. این کلاف در طی مسیری راست‌گرد پس از عبور از شیارهای ۱ و ۴، ته آن به تیغه ۲ کموتاتور متصل شده است. بین سر و ته این کلاف یک عایق از کموتاتور قرار دارد. بنابراین طبق تعریف، گام کموتاتور $y_C = +۱$ می‌شود و سیم‌پیچی راست‌گرد است.

کلاف بعدی کلاف دوم نامیده می‌شود که بازوی اول آن در شیار ۲ و بازوی دوم این کلاف در شیار ۵ رتور قرار می‌گیرد. سرکلاف دوم به تغیه ۲ کموتاتور که ته کلاف اول به آن متصل شده بود، اتصال می‌یابد و ته آن به تیغه ۳ کموتاتور متصل می‌شود. این روند در جاگذاری کلاف‌های بعدی در شیارهای رتور و اتصال سر و ته آن‌ها به تیغه‌های کموتاتور ادامه می‌یابد تا آن که انتهای آخرین کلاف به ابتدای کلاف اول در تیغه ۱ وصل شود. بدین ترتیب سیم‌پیچی رتور به‌صورت حلقوی ساده تکمیل می‌شود.

بازوی دوم کلاف اول در شیار ۴ رتور و بازوی اول کلاف دوم در شیار ۲ رتور قرار دارد. بین این دو بازو ۲شیار فاصله است که طبق تعریف، گام برگشت $y_۲ = ۲$ می‌شود.

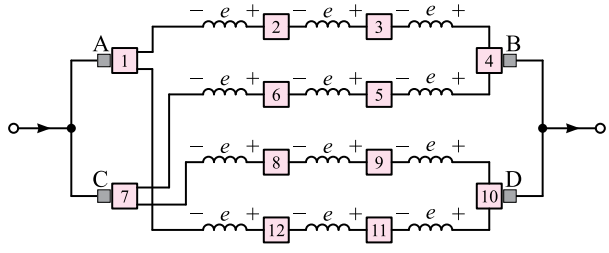
بازوی اول کلاف اول در شیار ۱ رتور و بازوی اول کلاف دوم در شیار ۲ رتور قرار دارد. بین این دو بازو

یک شـیار فاصله اسـت و طبق تعریف، گام سیم‌پیچی $y = ۱$ می‌شود.

سیم‌پیچی حلقوی ساده است؛ تعداد جاروبک‌ها برابر تعداد قطب‌ها اسـت، لذا از ۴ جاروبک با پهنایی برابر با عرض تیغه کموتاتور استفاده می‌شود.

جاروبک‌ها بر روی تیغه‌هایـی از کموتاتور قرار داده می‌شود که جریان کلاف‌ها به آن‌ها وارد یا از آن‌ها خارج می‌شـود. مطابق شکل جریان از تیغه‌های شماره ۱ و ۷ کموتاتور خارج می‌شـود و به تیغه‌های شـماره ۴ و ۱۰ کموتاتور وارد می‌شود؛ لذا چهار جاروبک A، B، C و D به روی این تیغه‌ها قرار می‌گیرند. بدیهی اسـت پلاریته ولتـاژ جاروبک‌های A و C و جاروبک‌های B و D یکی است. چرا؟

دیاگرام خطی سـیم‌پیچی حلقوی سـاده مربوط به دیاگرام دایره‌ای شـکل (۱۱۱ ـ ۲) در شکل (۱۱۲ ـ ۲) نشان داده شده است.




**شکل ۱۱۲ ـ ۲ دیاگرام خطی رتور ۱۲ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچی حلقوی ساده**

در دیاگرام خطی شکل (۱۱۲ ـ ۲) مشاهده می‌شود میان دو تیغـه مجاور کموتاتور یـک کلاف قرار گرفته اسـت. این کلاف‌هـا از طریـق تیغه‌هـای کموتاتور با یک‌دیگر سری شده‌اند.

جاروبک‌های هم پلاریته B و D و جاروبک‌های هم پلاریته A و C به یک‌دیگر ارتباط داده شـده‌اند. بدین ترتیب چهار مسـیر شکل می‌گیرد و کلاف‌های آرمیچر در این مسیرها توزیع می‌شوند.

جریان پس از عبور از جاروبک‌های A و C در چهار مسیر تقسیم می‌شود. هر یک از این مسیرها راهی برای عبور جریان اسـت. لذا چهار «راه جریان» ایجاد شـده است. یعنی $a = ۴$ می‌باشد.

مشاهده می‌شود در سیم پیچی حلقوی ساده تعداد راه‌های جریان با تعداد قطب‌ها برابر است. بنابراین:

$$a = \mathrm{P} \qquad (۲-۹)$$

با توجه به دیاگرام خطی شـکل (۱۱۲ ـ ۲) مشاهده می‌شـود کلاف‌ها در هـر راه جریان با یک‌دیگر سـری می‌شـوند، لذا نیروی محرکه القایـی آن‌ها با هم جمع می‌شود. اگر نیروی محرکه القایی هر کلاف $e$ ولت باشد از آنجایی که در هر راه جریان ۳ کلاف قرار دارد، نیروی محرکـه القایی در هر راه جریان $۳e$ ولت خواهد شـد. ولتـاژ میـان دو جاروبـک A و B یـا C و D با نیروی محرکه القایی در هر راه جریان یعنی $۳e$ ولت برابر است. کلاف‌های هر یک از ایـن راه‌های جریان پس از این‌که با یک‌دیگر سـری شدند به‌وسـیله اتصال جاروبک‌ها به تیغه‌های کموتاتور با هم موازی می‌شـوند. بدین ترتیب جریان آرمیچر بین راه‌های جریان تقسـیم می‌شود. اگر جریان هر مسـیر جریان $I_{A۱}$ آمپر باشـد از آنجایی که آرمیچر ۴ راه جریان دارد لذا جریان آرمیچر $۴I_{A۱}$ آمپر خواهد شد. بنابراین بین جریان آرمیچر و جریان هر راه جریان رابطه (۱۰ ـ ۲) برقرار است.

$$\mathrm{I}_{a۱} = \frac{\mathrm{I}_A}{a} \qquad (۲-۱۰)$$

در این رابطه:

$I_{A1}$ جریان هر راه جریان

a تعداد راه‌های جریان

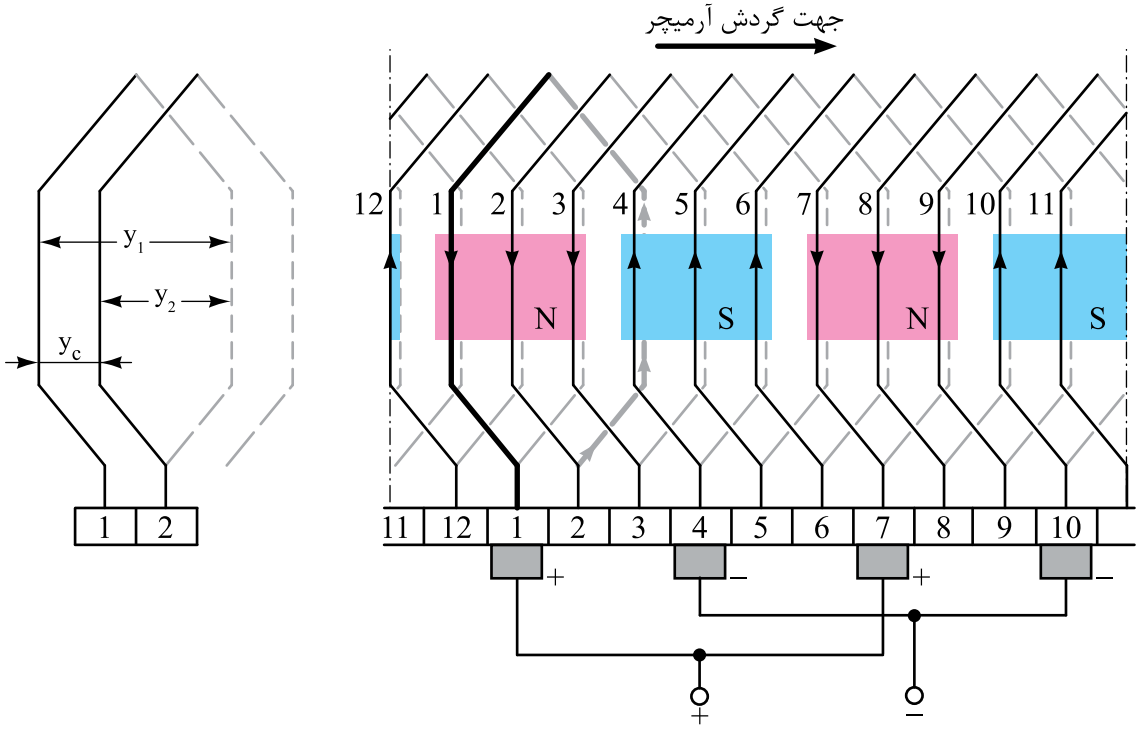
$I_A$ جریان آرمیچر

تقسیم جریان بین راه‌های جریان در سیم‌پیچی حلقوی باعث می‌شود از کلاف‌های آرمیچر در هر راه، جریان کم‌تری عبور کند و سطح مقطع هادی‌های آن‌ها کاهش یابد.

دیاگرام گسترده سیم‌پیچی حلقوی ساده مربوط به دیاگرام دایره‌ای شکل (۱۱۱ ـ ۲) در شکل (۱۱۳ ـ ۲) نشان داده شده است. از آنجایی که در هر شیار رتور دو بازو از دو کلاف قرار گرفته است در دیاگرام گسترده، بازویی که در شیار زیر قرار می‌گیرد را با خط چین نشان می‌دهند.

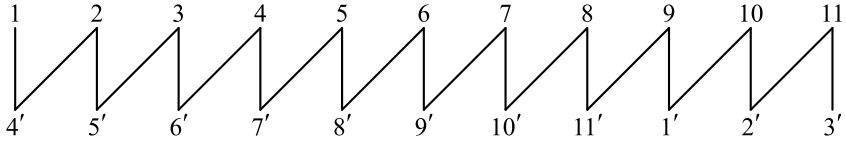
## فعالیت ۷ ـ ۲

گام‌های سیم‌پیچی شکل (۱۱۳ ـ ۲) را به‌دست آورید.




**شکل ۱۱۳ ـ ۲ دیاگرام گسترده رتور ۱۲ شیار چهار قطب با سیم‌پیچی حلقوی ساده**

دیاگرام سریع سیم‌پیچی حلقوی ساده مربوط به دیاگرام دایره‌ای شکل (۱۱۱ ـ ۲) در شکل (۱۱۴ ـ ۲) نشان داده شده است. در دیاگرام سریع بازویی که در شیار در زیر قرار می‌گیرد با اعداد پریم‌دار نشان داده می‌شود.




**شکل ۱۱۴ ـ ۲ دیاگرام سریع رتور ۱۲ شیار چهار قطب با سیم‌پیچی حلقوی ساده**